

Д.П. Никулина, Д.М. Ляпичев
D. Nikulina, D. Lyapichev

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ
КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ТРЕЩИНОПОДОБНЫХ ДЕФЕКТОВ
ГАЗОПРОВОДОВ
PROSPECTS OF APPLICATION OF TECHNICAL CONDITION
MONITORING SYSTEMS FOR OPTIMIZING CRITERIA FOR
ASSESSING CRACKLIKE DEFECTS OF GAS PIPELINES**

Дарья Никулина

Ассистент кафедры термодинамики и тепловых двигателей
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Darya Nikulina National University of Oil and Gas "Gubkin University"

E-mail: nikulina.d@gubkin.ru

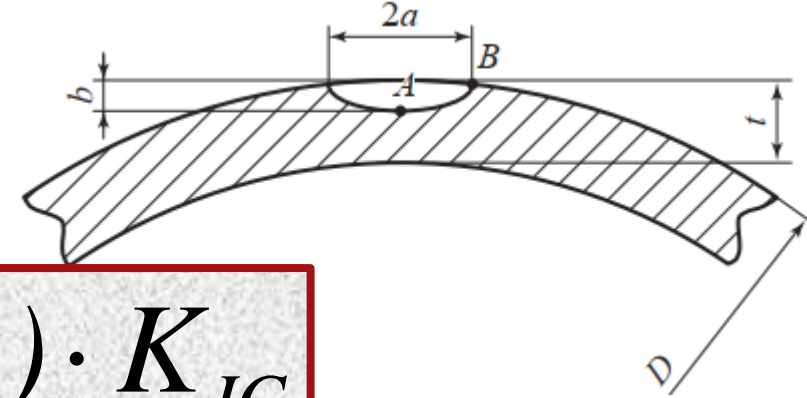
Традиционный подход к оценке трещиноподобных дефектов

Traditional approach to the evaluation of crack-like defects

Критерий перехода в предельное состояние при возникновении хрупкого разрушения в условиях наличия эксплуатационных трещиноподобных дефектов

The criterion for passing to the limiting state in the event of brittle fracture under conditions of operational crack-like defects

Единичный кольцевой дефект КРН
Single annular defect SCC



$$K_I > (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n) \cdot K_{IC}$$

Коэффициент интенсивности напряжений (КИН)
в характерных точках по фронту трещины
Stress Intensity Factor (SIF) at characteristic points
along the crack front

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi \cdot b} \cdot Y$$
$$Y = f(a, b, t)$$

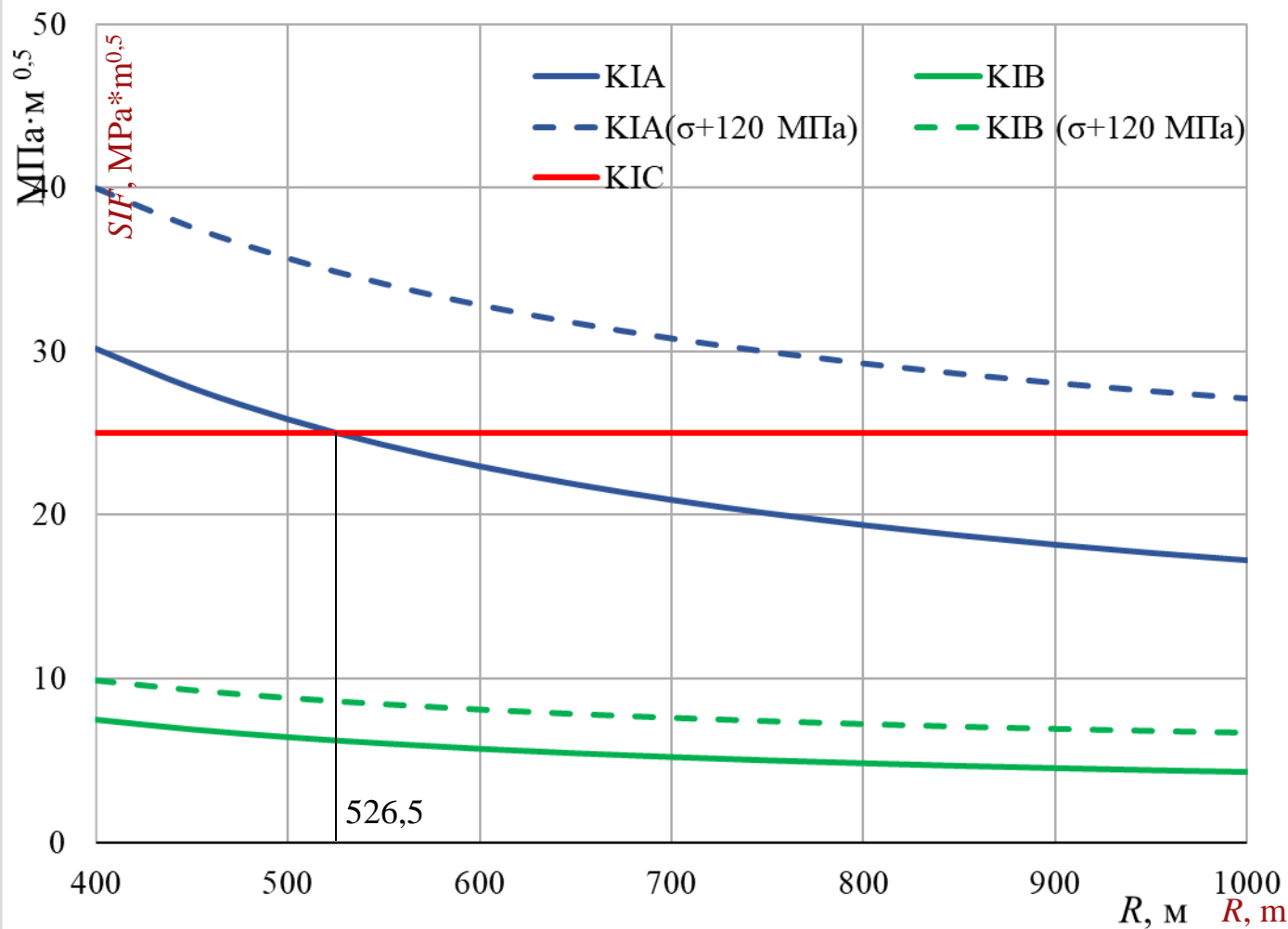
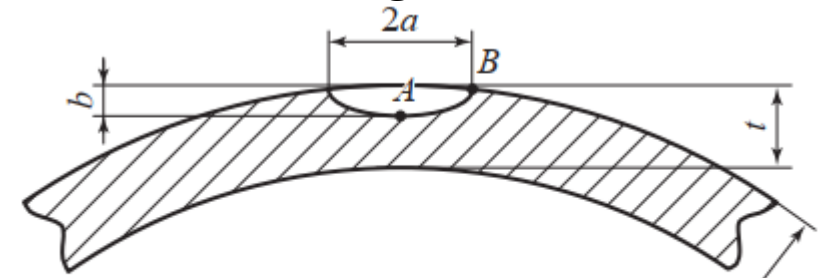
Коэффициенты запаса
Safety Factor

Критический КИН – константа материала,
характеристика трещиностойкости
Critical SIF- material constant, crack resistance
characteristic, "Fracture toughness"

Погрешность оценки трещиноподобных дефектов

Error in estimating crack-like defects

Единичный кольцевой дефект КРН
Single annular defect SCC



- Погрешность определения **радиуса** упругого изгиба R даже на 50 м (менее 15%) – ошибка при оценке опасности дефекта и остаточного ресурса объекта.
- The error in determining the **radius** of elastic bending R even at 50 m (less than 15%) is an error in assessing the risk of the defect and the residual resource of the object.
- Отсутствие учета монтажных **напряжений** – ошибка в определении K_{IA} и K_{IB} до 40% и 10% от критического значения K_{IC} соответственно.
- Lack of accounting for installation stresses - an error in determining K_{IA} and K_{IB} up to 40% and 10% of the critical value of K_{IC} , respectively.

Цели и задачи Goals and objectives

Цель Goal :

Совершенствование существующих подходов к анализу работоспособности трубопроводов с дефектами, в том числе коррозионного растрескивания под напряжением, путем внедрения технологии комплексного мониторинга для оценки их сложного напряженно-деформированного состояния (НДС).

Improvement of existing approaches to the analysis of the operability of pipelines with defects, including stress corrosion cracking, by introducing integrated monitoring technology to assess their complex stress-strain state (SSS).

Задачи:

- 1) Анализ существующих подходов к оценке опасности трещиноподобных дефектов основного металла и сварных соединений труб.
- 2) Оценка современных возможностей систем мониторинга для оценки НДС металла труб газопроводов.
- 3) Разработка предложений по оценке опасности трещиноподобных дефектов, учитывающих возможность определения НДС газопроводов в процессе эксплуатации, а также истории его изменения.
- 4) Разработка предложений по дифференциации требований к средствам НК при совместном мониторинге НДС и техническом диагностировании.

Objective :

- 1) Analysis of existing approaches to assessing the risk of crack-like defects in the base metal and welded pipe joints.
- 2) Assessment of current capabilities of monitoring systems to estimate the stress-strain rate of gas pipelines' metal.
- 3) Development of proposals for assessing the risk of crack-like defects, taking into account the possibility of determining the SSS of gas pipelines during operation, as well as the history of its modification.
- 4) Development of proposals for the differentiation of requirements for NDT tools during joint monitoring of SSS and technical diagnostics.

Структура системы мониторинга **Monitoring system structure**

Верхний уровень **Top level**

Модуль сбора данных
Data collection module

Расчетный модуль –
Центральная мат.
Модель
Calculation Module

Модуль хранения
данных
Data storage module

Модуль визуализации
полученных данных
Received data
visualization module

Нижний уровень **Lower level**

Основная
подсистема
измерения
координат
Main reference
measurement subsystem

Дублирующая
подсистема
измерения
координат
Secondary coordinate
measurement subsystem

Подсистема контроля
углов наклона
Tilt angle control subsystem

Подсистема контроля
деформаций
трубопроводов
Pipeline deformation
control subsystem

Подсистема измерения координат

Coordinate measurement subsystem based on a robotic total station

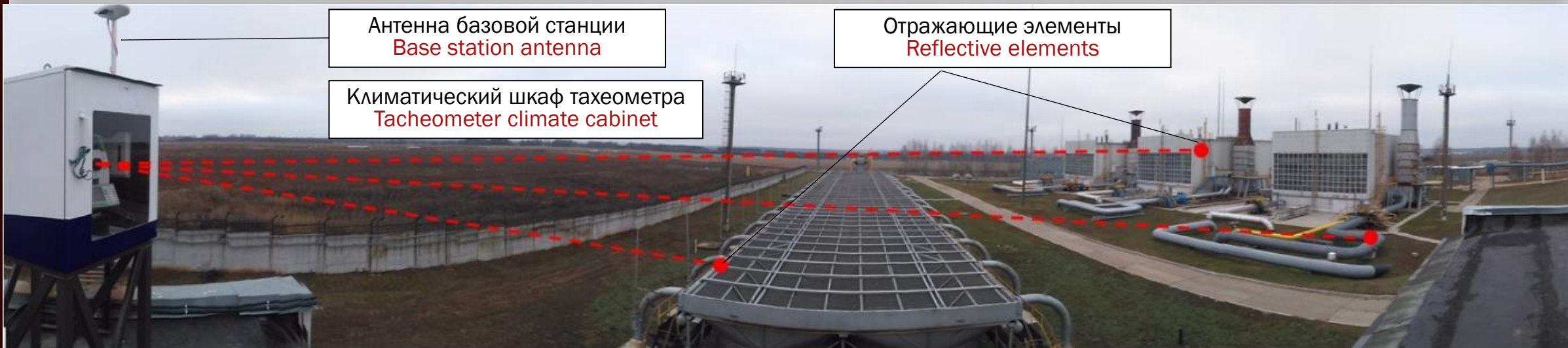
- Автоматическое измерение координат отражателей, установленных на выбранных точках мониторинга.
Automatic measurement of the coordinates of reflectors, installed at the selected monitoring points.

Состав подсистемы:

- Климатический шкаф;
- Роботизированный тахеометр;
- Отражающие элементы.

Subsystem composition:

- Climate cabinet;
- Robotic total station (tacheometer);
- Reflective elements.



Антенна базовой станции
Base station antenna

Климатический шкаф тахеометра
Tacheometer climate cabinet

Отражающие элементы
Reflective elements

Подсистема измерения координат на базе GNSS

GNSS-based coordinate measurement subsystem

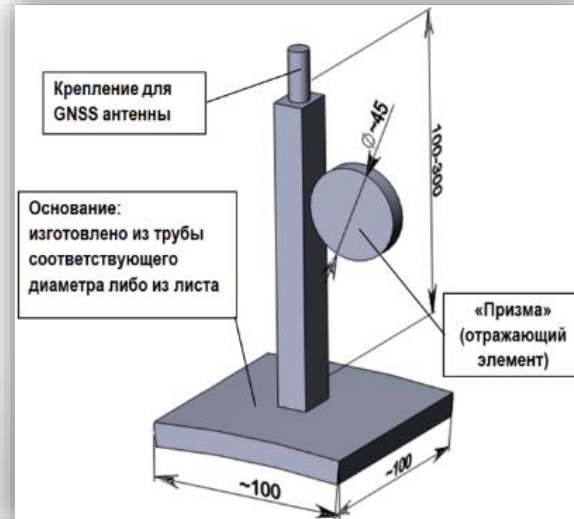
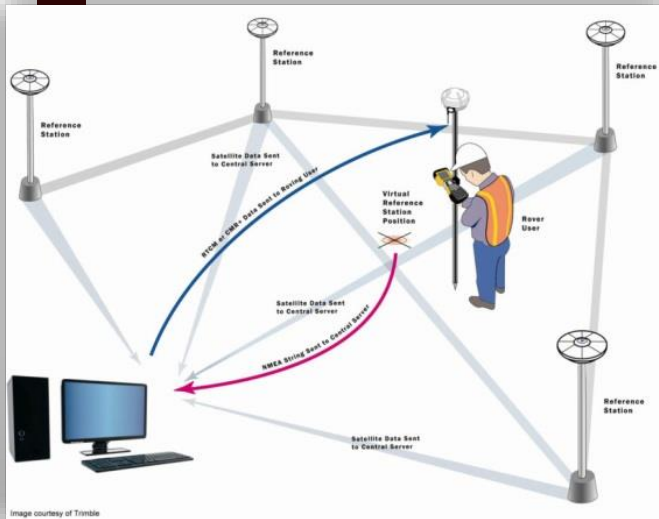
- Измерение координат точек мониторинга трубопроводов;
- Дублирование основной подсистемы (в условиях ограниченной видимости и т.п.).
- Measurement of coordinates of monitoring points of pipelines;
- Duplication of the main subsystem (in conditions of limited visibility, etc.).

Состав подсистемы:

- Базовая станция;
- Переносная GNSS-антенна;
- Штатные крепления.

Subsystem composition:

- Base station on a climate cabinet;
- Portable GNSS antenna
- Fixed attachments.



Подсистема контроля углов наклона

Tilt angle control subsystem

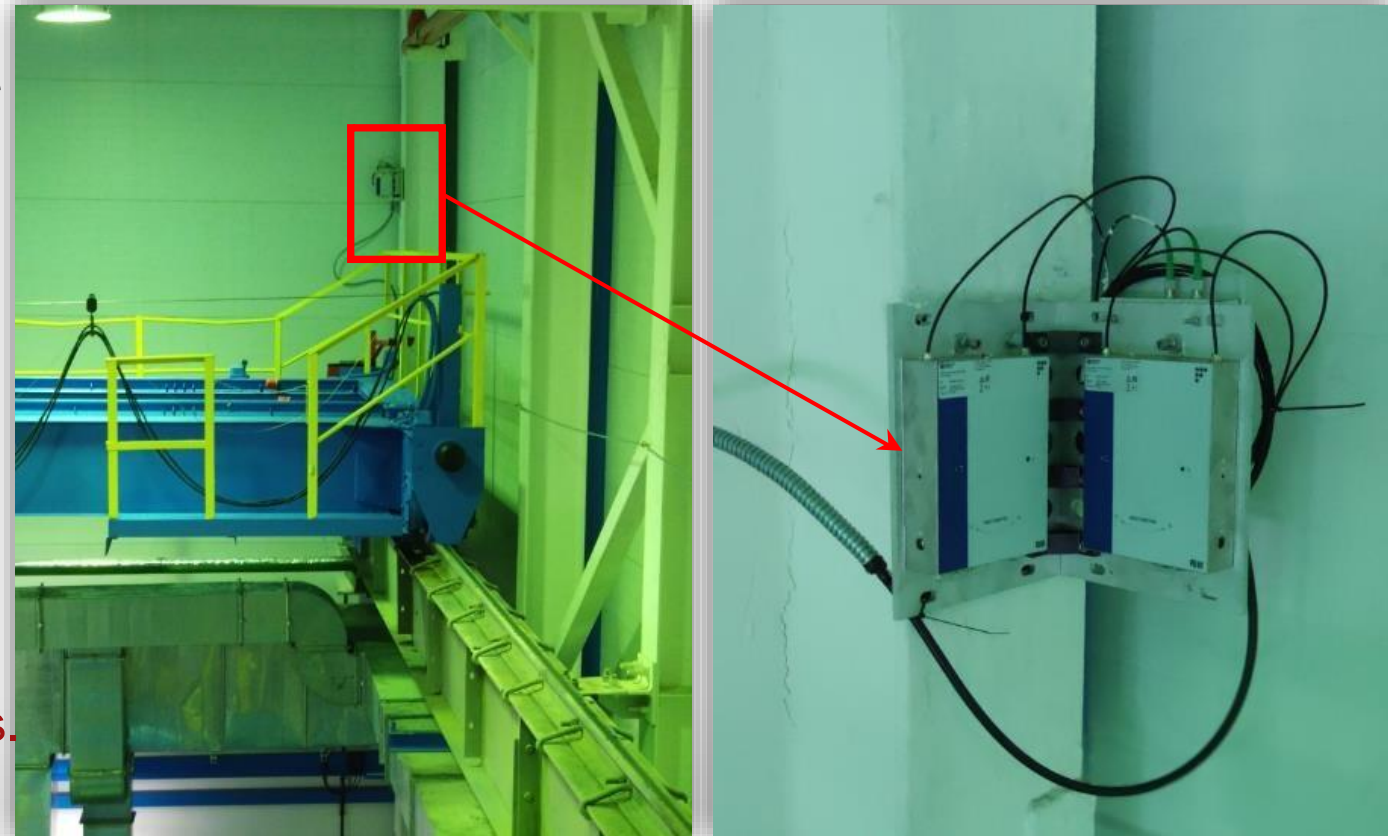
- Измерение углов наклона несущих конструкций (балок, колонн и т.п.).
- Measuring the angles of inclination of supporting structures (beams, columns, etc.).

Состав подсистемы:

- Инклинометры волоконно-оптические (датчики угла наклона);
- Интеррогатор – опросное устройство;
- Штатные крепления в точках мониторинга.

Subsystem composition:

- Fiber optic inclinometers (tilt angle sensors);
- Interrogator – data obtaining device;
- Fixed attachments at monitoring points.



Подсистема измерения деформаций

Deformation measurement subsystem

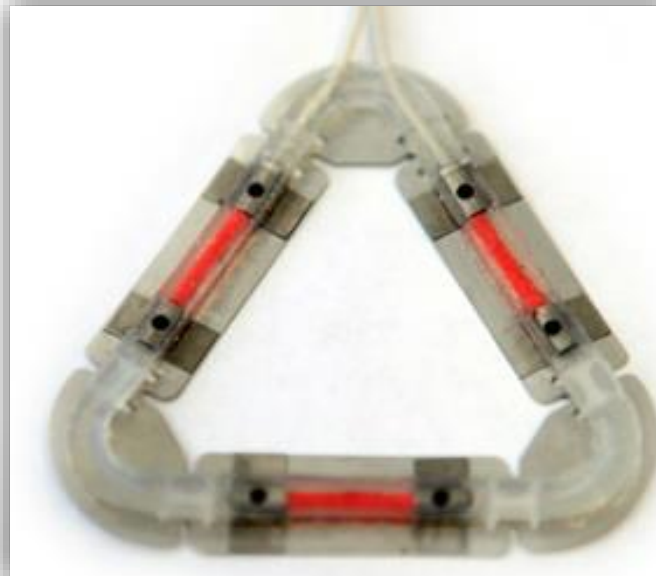
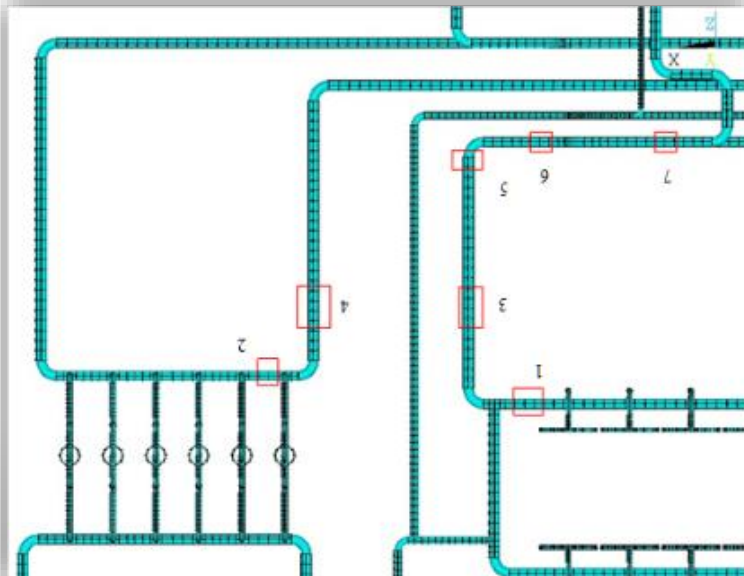
- Контроль всех компонент деформации подземных трубопроводов в выбранных сечениях.
- Волоконно-оптические датчики на базе решеток Брэгга.
- Control of all components of deformation of underground pipelines in selected sections.
- Fiber optic sensors based on Bragg gratings.

Состав подсистемы:

- Точечные волоконно-оптические датчики;
- Интеррогатор – опросное устройство.

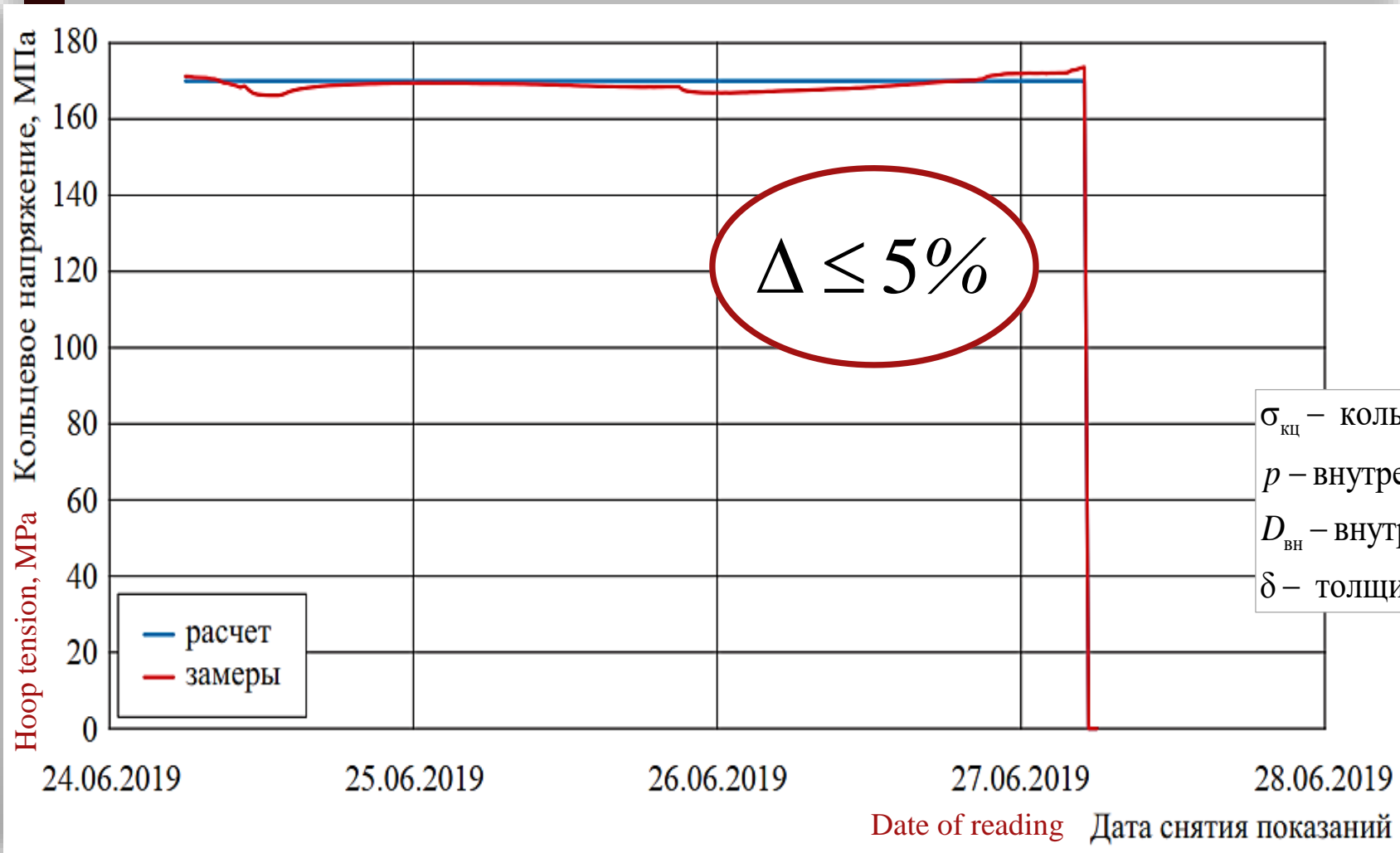
Subsystem composition:

- Point Fiber Optic Sensors;
- Interrogator – data obtaining device.



Оценка качества работы подсистемы контроля деформаций

Work quality of deformation measurement subsystem



«Котельная» формула
(данные АСУ ТП)
"Boiler room" formula
(data of the APCS)

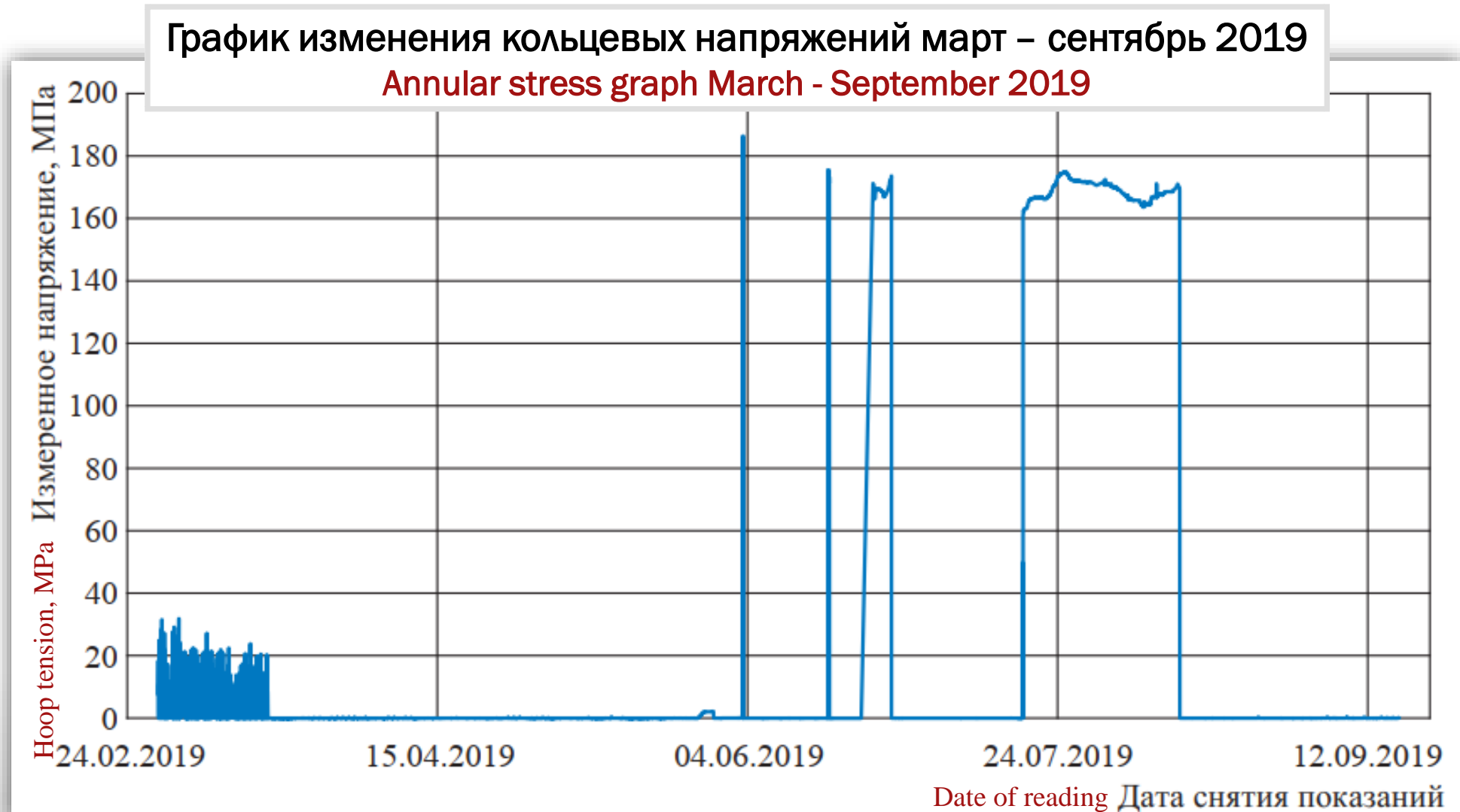
$$\sigma_{\text{кц}} = \frac{pD_{\text{вн}}}{2\delta}$$

$\sigma_{\text{кц}}$ – кольцевые напряжения, МПа (hoop tension, МПа);
 p – внутреннее давление, МПа (internal pressure, МПа);
 $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр, м (internal diameter, m);
 δ – толщина стенки, м (wall thickness, m).

Измеренные деформации
(данные СМ)
Measured strains (MS data)

Эксплуатация подсистемы измерения деформаций

Operation of the deformation measurement subsystem

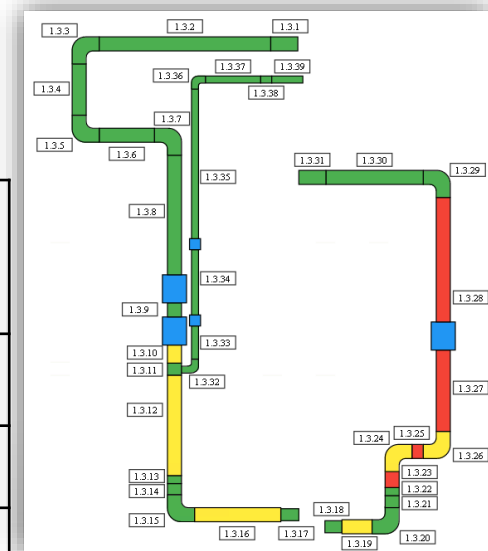
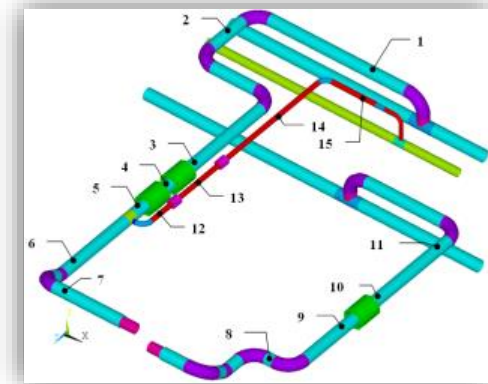


Центральная многопараметрическая математическая модель – ЦМММ

Разработан комплекс конечно-элементного анализа, применение которого позволяет отказаться от использования зарубежных программных продуктов (ANSYS, ABAQUS, COSMOS и т.п.).

Расчетный модуль – ЦМММ – позволяет выполнять:

- оценку НДС объектов мониторинга;
- анализ результатов измерений и расчетов;
- оценку остаточного ресурса объектов мониторинга.



Сравнение результатов расчета ЦМММ и ANSYS

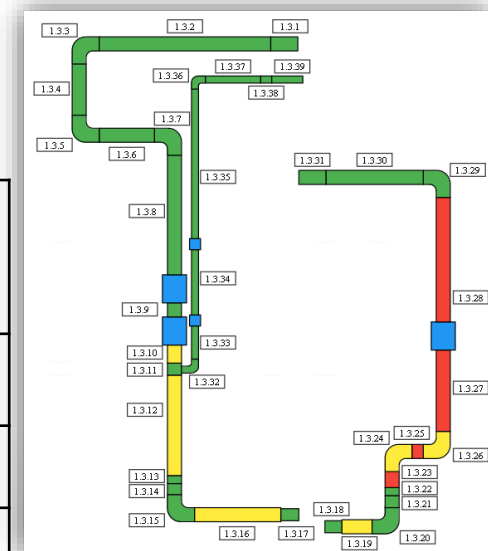
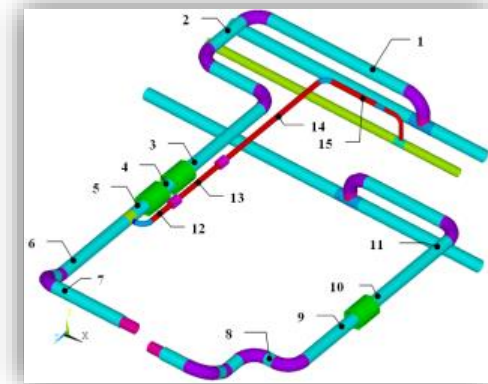
Элемент	Эквивалентное напряжение ANSYS, МПа	Эквивалентное напряжение ЦМММ, МПа	Погрешность по напряжению, %	Изгибающий момент ANSYS, кН·м	Изгибающий момент ЦМММ, кН·м	Погрешность по моменту %
№ 1.3.12 Труба ДУ 1000	266	282	2.4	2496	2426	0.8
№ 1.3.19 Труба ДУ 1000	230	263	4.9	2223	2019	2.4
№ 1.3.27 Труба ДУ 1000	680	697	2.5	8340	8089	3.0

Central Multiparameter Mathematical Model - CMMM

A complex of finite element analysis has been developed, the use of which makes it possible to abandon the use of foreign software products (ANSYS, ABAQUS, COSMOS, etc.).

The calculation module - CMMM - allows to perform :

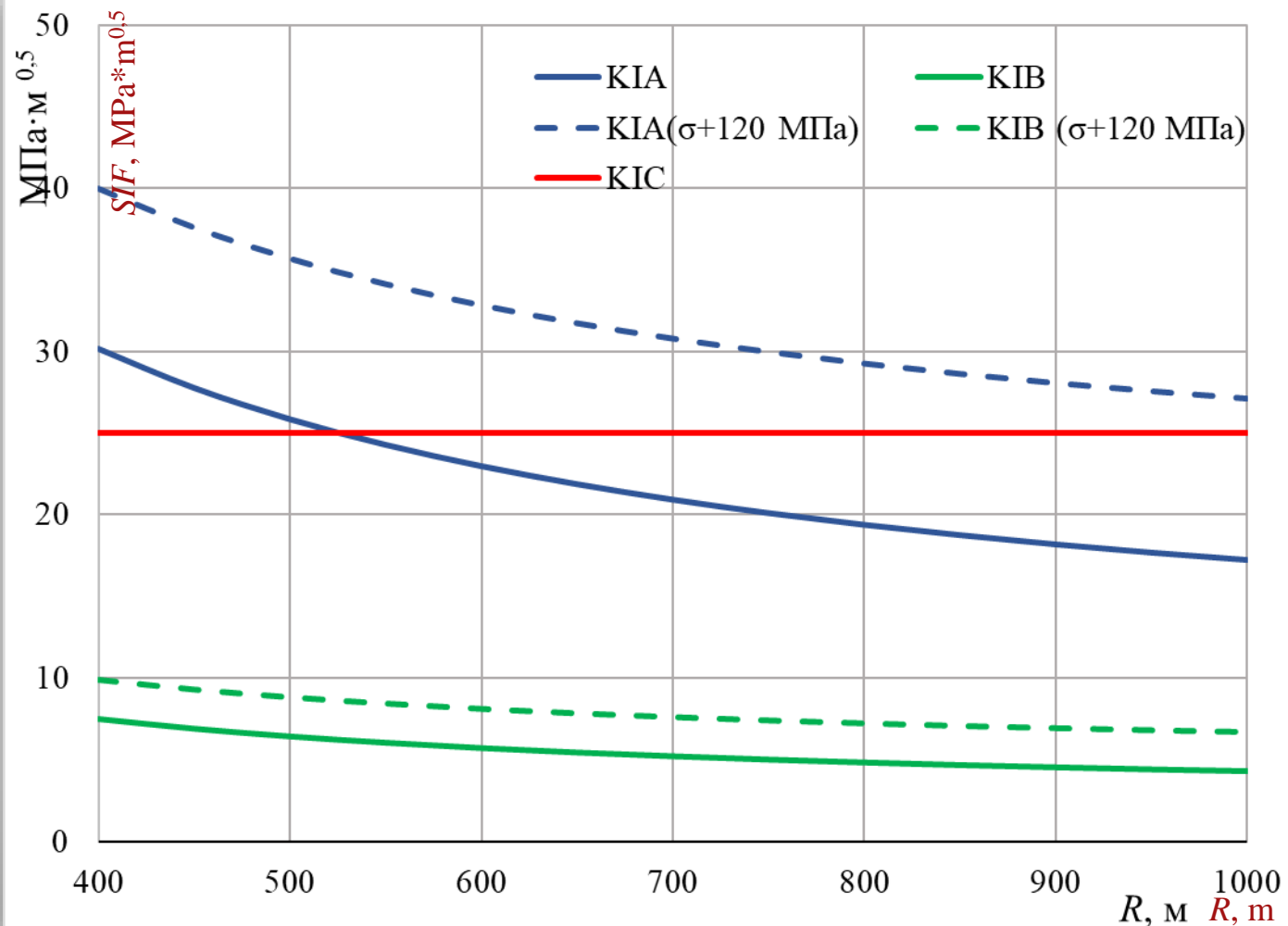
- SSS assessment of monitoring objects;
- analysis of measurement and calculation results;
- assessment of the residual resource of monitoring objects.



Comparison of the results of calculating CMMM and ANSYS

Element	Equivalent stress ANSYS, MPa	Equivalent stress CMMM, MPa	Stress error,%	Bending moment ANSYS, kN·m	Bending moment CMMM, kN·m	Bending moment error, %
№ 1.3.12 Pipe DN 1000	266	282	2.4	2496	2426	0.8
№ 1.3.19 Pipe DN 1000	230	263	4.9	2223	2019	2.4
№ 1.3.27 Pipe DN 1000	680	697	2.5	8340	8089	3.0

Возможности мониторинга для оценки дефектов и ресурса трубопроводов



$$\sigma_i^{\text{действ}} > (k_1, k_2, k_3 \dots k_n) \sigma_{\text{в}}$$

$$K_I > (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n) \cdot K_{IC}$$

- Использование **фактического НДС** вместо **максимального** значения при расчете КИН и проверки прочности и устойчивости.
- Using the **actual SSS** instead of the **maximum** value when Stress Intensity Factor and checking strength and stability.
- **Уточнение** и актуализация **коэффициентов запаса** для конкретных условий нагружения.
- **Refinement** and updating of **safety factors** for specific loading conditions.

Диагностирование + мониторинг

Diagnostics + automated monitoring

УТВЕРЖДАЮ
Первый заместитель начальника
Департамента ПАО «Газпром»

В.Г. Никитин

« 24 » 07 2017

РЕЕСТР диагностических комплексов для внутритрубного технического диагностирования технологических трубопроводов компрессорных станций

Технические условия, разработчик комплекса/поставщик услуг по ВТД, состав диагностического комплекса	Назначение	Область (условия) применения	Основание для включения в реестр
--	------------	------------------------------	----------------------------------

Особенности роботизированных комплексов КОМПЛЕКСОВ **Features of robotic complexes**

- Разброс точности и чувствительности средств контроля (УЗК сварных соединений, соединительных деталей)
 - **Scatter of accuracy and sensitivity of devices**
- Ограничения условий использования (min Ду, дальность, длительность и пр.)
 - **Limitations of the conditions of use**
- **Различная стоимость**
- **Various cost**

Внедрение мониторинга **Monitoring implementation**

- Снижение глубины диагностирования (акцент на значительных дефектах)
 - **Decrease in the depth of periodic diagnostics**
- Оптимизация технических требований к оборудованию
 - **Optimization of technical requirements for diagnostic equipment**
- **Сокращение затрат на диагностические средства**
- **Reducing the cost of diagnostics and pipeline maintenance**

Выводы Conclusions

- Разработка и внедрение автоматизированных средств технического диагностирования является перспективным направлением развития системы технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности объектов ПАО «Газпром».
- Development and implementation of automated means of technical diagnostics is a promising area of development of the system for technical diagnostics and industrial safety expertise of PJSC Gazprom facilities.
- Инновационные технические решения, использованные при разработке и внедрении системы мониторинга зданий, сооружений, технологического оборудования и трубопроводов уже показали свою эффективность и практическую значимость.
- Innovative technical solutions used in the development and implementation of a monitoring system for buildings, structures, technological equipment and pipelines have already shown their effectiveness and practical significance.
- Внедрение автоматизированных средств технического диагностирования позволяет повысить точность и глубину технического диагностирования, избежать ошибок при оценке опасности дефектов и остаточного ресурса газопроводов.
- The introduction of automated means of technical diagnostics makes it possible to increase the accuracy and depth of technical diagnostics, to avoid errors in assessing the danger of defects and residual resource of gas pipelines.
- Применение автоматизированного мониторинга позволит оптимизировать затраты на обслуживание и ремонт газопроводов, во многом определяющие себестоимость транспорта газа.
- The application of automated monitoring will make it possible to optimize the costs of maintenance and repair of gas pipelines, which determine in large part the cost of gas transport.

Д.П. Никулина, Д.М. Ляпичев
D. Nikulina, D. Lyapichev

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ
КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ТРЕЩИНОПОДОБНЫХ ДЕФЕКТОВ
ГАЗОПРОВОДОВ**
**PROSPECTS OF APPLICATION OF TECHNICAL CONDITION
MONITORING SYSTEMS FOR OPTIMIZING CRITERIA FOR
ASSESSING CRACKLIKE DEFECTS OF GAS PIPELINES**

Дарья Никулина

Ассистент кафедры термодинамики и тепловых двигателей
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Darya Nikulina National University of Oil and Gas "Gubkin University"

E-mail: nikulina.d@gubkin.ru